

Faisabilité de référence haute fréquence pour les architectures RF

Pierre GUILLOT¹, Pascal PHILIPPE¹, Corinne BERLAND², Jean-François BERCHER³

¹NXP Semiconductors France, Campus Effiscience, 2, Esplanade Anton Philips, BP20000 /14906 Caen CEDEX

²Université Paris-Est, ESYCOM, ESIEE Paris, 2, Boulevard Blaise Pascal, BP99 /93162 Noisy le Grand CEDEX

³Université Paris-Est, LabInfo, ESIEE Paris, 2, Boulevard Blaise Pascal, BP99 /93162 Noisy le Grand CEDEX

pierre.guillot@nxp.com : correspondant principal

Résumé

Ce papier démontre la faisabilité d'une référence haute fréquence pour les architectures RF. Il présente la conception d'un circuit oscillant à 2GHz réalisé en technologie CMOS 65nm. Les deux principales innovations sont les performances en terme de stabilité (bruit de phase de -128dBc/Hz à 100kHz de la porteuse) et en précision (implémentation d'une banque de capacité ayant un pas de 0.4ppm) de l'oscillateur. Sa consommation est optimisée (0.9mW). Il est suivi d'un diviseur faible bruit (-140dBc/Hz à 100kHz de la porteuse) délivrant un signal à 500MHz.

1. Introduction

Dans tout système de communication, l'étape de synchronisation entre les différents émetteurs et récepteurs est primordiale. Dans ce contexte, la stabilité et la précision sont les deux paramètres les plus importants des références de fréquences. Actuellement, ce type de circuit utilise des résonateurs à base de quartz, reconnus pour être précis et stables. Cependant, à l'heure de l'intégration poussée, de la recherche de solutions très faible coût et de l'augmentation constante des vitesses de fonctionnement des circuits, leur coût élevé, leur taille et leur faible fréquence d'oscillation (26MHz) sont des inconvénients majeurs. Une solution innovante de remplacement du quartz est l'utilisation de résonateur à onde acoustique volumique (« Bulk Acoustic Wave » (BAW)). Grâce à leur facteur de qualité important et à leur haute fréquence de résonance, des performances équivalentes aux oscillateurs à base de quartz en terme de pureté spectrale peuvent être atteintes [1]. De plus, les résonateurs BAW sont fabriqués à partir d'une technologie silicium et sont de taille réduite. Ils sont donc de bons candidats pour une intégration avec le reste de la puce dans un SIP ou un SOC.

Dans ce papier, nous allons démontrer la faisabilité d'une référence haute fréquence puis nous discuterons des possibilités de l'utilisation de ce type de circuit dans les architectures RF. Dans la seconde partie, nous exposerons la réalisation d'un oscillateur à base de résonateur BAW en mettant en avant les principales innovations de notre travail. Dans la troisième partie, nous présenterons les résultats de mesures du circuit réalisé en technologie CMOS 65nm. Enfin, dans une

quatrième partie, nous nous attarderons sur les pistes possibles d'innovations architecturales.

2. Réalisation d'une référence haute fréquence

2.1. L'oscillateur

L'oscillateur a été réalisé à partir d'une paire de transistors croisés. Ce type de circuit permet de faciliter une intégration future dans un émetteur-récepteur complet. Dans une structure différentielle, le résonateur est placé entre les drains des NMOS. L'alimentation du circuit se fait à l'aide de deux sources de courant programmable. Afin d'éviter tout problème d'instabilité en basse fréquence, un filtre est inclus pour éviter l'existence de la résistance négative en dehors de la fréquence de fonctionnement de l'oscillateur [2] (Fig. 1).

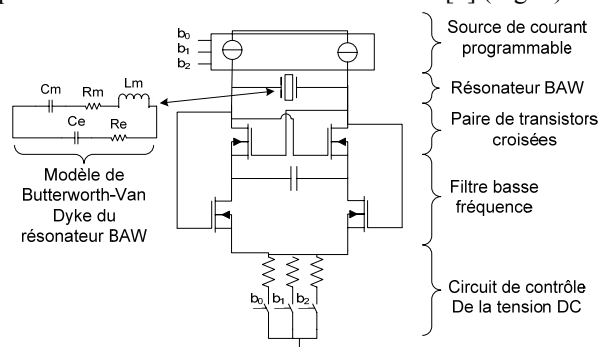


Figure 1. Circuit oscillant et modèle du résonateur

2.2. Le résonateur BAW

Un résonateur BAW est principalement composé d'une couche de matériau piézoélectrique placée entre deux électrodes métalliques. Grâce au matériau piézoélectrique, un couplage se crée entre la tension aux bornes du résonateur. L'onde acoustique est alors confinée dans le composant par l'air au niveau de l'électrode supérieure et par un réflecteur de Bragg au niveau de l'électrode inférieure [3].

2.3. La précision de fréquence

Le principal défaut des résonateurs BAW est leur relative imprécision fréquentielle par rapport à un quartz. Il nous faut donc compenser l'erreur initiale du composant ainsi que les éventuelles variations de fréquences dues à l'alimentation et à la température. Pour

ce faire, nous avons implémenté deux banques de capacités commutables. Pour atteindre les performances voulues en terme de précision de fréquence (0.4ppm), nous avons utilisé des capacités « fringes » (ou métal-métal) de faible valeur (64aF) [4].

2.4. Circuits annexes

Un diviseur de fréquence est connecté à l'oscillateur. Il permet d'ajouter une sortie à 500MHz au circuit. A cette fréquence, le circuit peut être plus facilement utilisé dans les émetteurs-récepteurs actuels.

3. Réalisation et mesures

La référence de fréquence a été réalisée en technologie CMOS 65nm. La puce active et le résonateur sont collés au PCB puis reliés entre eux et aux éléments extérieurs par des fils en or (Fig. 2).

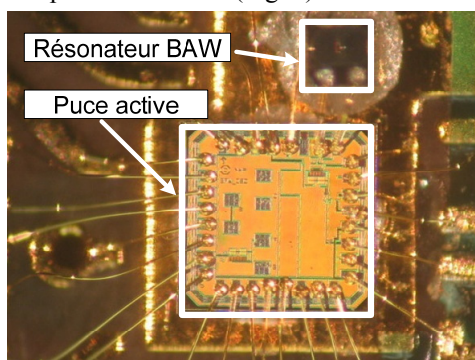


Figure.2 Puce active et résonateur sur le PCB

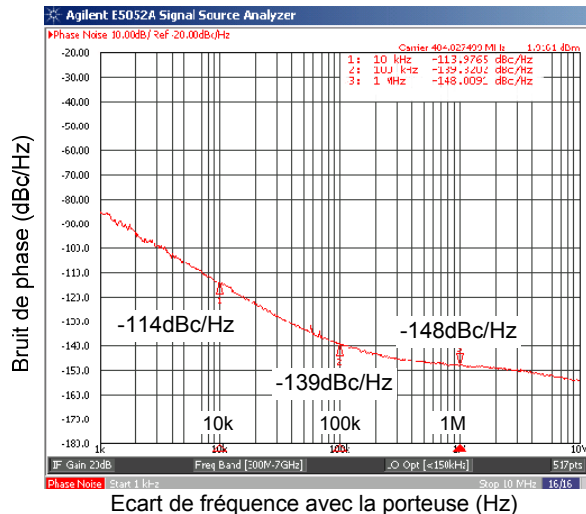


Figure.3 Bruit de phase mesuré en sortie du diviseur

La stabilité et la précision de la fréquence délivrée peuvent être représentées respectivement par le bruit de phase et le pas en fréquence autorisé par la banque de capacités.

La figure 3 présente l'évolution du bruit de phase en fonction du décalage en fréquence par rapport à la porteuse à 500MHz. Notre circuit présente un bruit de phase de -114dBc/Hz à 10kHz de la porteuse et de -139dBc/Hz à 100kHz. Ces performances sont meilleures de 5dBc/Hz comparées à celles atteintes par les oscillateurs à quartz utilisés dans les applications cellulaires. La précision de la fréquence du signal délivré

par le circuit est donnée par ses banques de capacités. Les mesures ont montré une précision de 200Hz soit 0.4ppm avec une plage de variation de 500kHz sur la sortie à 500MHz.

4. Architectures RF

Les performances démontrées par notre réalisation permettent d'envisager des changements innovants dans les architectures radios. Une première application évidente sur les architectures actuelles est l'utilisation d'une référence haute fréquence pour séquencer les blocs digitaux des circuits. En effet, ceux-ci fonctionnent à des fréquences de plus en plus élevées. Une référence haute fréquence permet ainsi d'éviter le recours à des multiplieurs de fréquence.

Les fréquences générées par notre circuit sont proches de celle des signaux utilisés comme porteuses dans de nombreuses applications. On peut donc envisager l'utilisation de notre oscillateur comme générateur de porteuse. La fréquence générée est alors directement la fréquence voulue. Avec un asservissement adéquat, il est alors possible de se passer d'un synthétiseur de fréquence.

De plus, la différence de prix entre un résonateur BAW et un classique quartz en fait un candidat idéal pour tout type d'application faible coût.

5. Conclusion

En remplaçant le classique quartz par un résonateur BAW dans notre oscillateur, nous avons démontré qu'il était possible de réaliser des références haute fréquence. Une pureté spectrale équivalente au quartz est atteinte avec un bruit de phase de -139dBc/Hz et -128dBc/Hz à 100kHz de la porteuse sur la sortie à 500MHz et 2GHz respectivement. L'ajout de banques de capacités innovantes a permis d'améliorer les performances du circuit en termes de précision de fréquence avec un pas de 200Hz (0.4ppm). De plus, les mesures ont montré que le circuit reste fonctionnel jusqu'à une puissance consommée minimum de 0.9mW. Le circuit développé ouvre la voie à de nouvelles architectures novatrices avec des puissances consommées plus faibles pour des performances équivalentes.

6. Bibliographie

- [1] F. Vanhelmont et al., "A 2 GHz Reference Oscillator incorporating a Temperature Compensated BAW Resonator," Ultrasonics Symposium, 2006. IEEE, 2006, pp. 333-336.
- [2] S.S. Rai and B.P. Otis, "A 600 μ W BAW-Tuned Quadrature VCO Using Source Degenerated Coupling," Solid-State Circuits, IEEE Journal of, vol. 43, 2008, pp. 300-305.
- [3] H. Loebl et al., "Narrow band bulk acoustic wave filters," Ultrasonics Symposium, 2004 IEEE, vol. 1, 2004, pp. 411-415 Vol.1.
- [4] P. Guillot, P. Philippe, C. Berland, J.F. Bercher, "A 2GHz 65nm CMOS digitally tuned oscillator", ICECS 2008, IEEE, 2008.